褐飞虱成虫体内磁性物质检测

解春兰[1,2], 李志毅[3], 隋 贺[3], 潘卫东[1,*], 陈法军[3,*]
(1. 中国科学院电工研究所生物电磁学北京市重点实验室, 北京 100190; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 南京农业大学植物保护学院昆虫信息生态实验室, 南京 210095)

摘要: 地磁定向是昆虫远距离迁飞定向的重要机制之一。本研究以褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 长翅型和短翅型成虫为研究对象, 利用 MPMS-7 型号超导量子干涉磁强计(磁场范围为 ±4.8 mA/m, 温度范围为 1.9 ~ 400 K)检测虫体内的磁性物质, 明确其体内的分布状况。结果表明: 褐飞虱长翅型雄成虫整个虫体的温度退磁曲线在 T = 220 K 处无明显拐点, 磁滞回线无明显闭合现象; 长翅型雌成虫及短翅型雌、雄成虫整体磁性物质检测结果与长翅型雄成虫类似, 说明利用成虫整体进行磁性物质检测效果不明显。分体段检测时, 褐飞虱短翅型和长翅型雌、雄成虫腹部温度退磁曲线在 T = 220 K 处有明显拐点, 且磁滞回线明显闭合, 说明该部位有磁滞(即矫顽力)存在, 也即存在着磁性物质; 而短翅型和长翅型雌、雄成虫头胸部的磁滞回线无闭合现象, 说明该部位无磁性物质存在。褐飞虱虫体内磁性物质的存在为其远距离迁飞过程中实现地磁定向提供了物质基础。

关键词: 褐飞虱; 翅型; 迁飞; 地磁定向; 磁性物质
中图分类号: Q967 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2011)10-1189-05

Detection of magnetic materials in adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae)

XIE Chun-Lan[1,2], LI Zhi-Yi[3], SUI He[3], PAN Wei-Dong[1,*], CHEN Fa-Jun[3,*] (1. Bejing Key Laboratory of Bioelectromagetics, Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. The Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Laboratory of Insect-Information Ecology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The geomagnetic orientation is one of the important mechanisms for orientation of insects in the long distance migration. In this study, the long-winged and short-winged adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, were selected to detect magnetic materials using Superconducting Quantum Interference Magnetometer (magnetic field range: ±4.8 mA/m; temperature range: 1.9 - 400 K) and to ascertain their distribution in the body. The results showed that there was no obvious turning point at T = 220 K in temperature-demagnetization curve and no closed hysteresis loop in the whole body of long-winged male adults of *N. lugens*. Similar phenomena were found in long-winged female adults and short-winged male and female adults, suggesting that the detection of magnetic materials using whole insect body is not obvious. When tested using body segments, the turning points of temperature-demagnetization curves were obviously detected at T = 220 K, and hysteresis loops were also clearly closed in the abdomen of long-winged and short-winged adults, suggesting that hysteresis (*i. e.*, coercive force) or magnetic materials exist in the abdomen of *N. lugens*. In the meantime, there were no closed hysteresis loops detected in the cephalothorax of long-winged and short-winged adults, suggesting that no magnetic materials exist in this body part of *N. lugens*. The existence of magnetic materials in the body of *N. lugens* provides physical basis for its geomagnetic orientation during the long distance migration.

Key words: *Nilaparvata lugens*; wing morph; migration; geomagnetic orientation; magnetic materials

---

基金项目: 国家重点基础研究规划("973"计划)项目(2010CB126200); 教育部霍英东基金(122033); 教育部博士点基金(20070307002); 国家自然科学基金项目(31070755; 31170362)
作者简介: 解春兰, 女, 硕士研究生, 主要从事生物电磁学研究, E-mail: cl. xie@163. com
* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: panwd@mail. iee. ac. cn; fajunchen@njau. edu. cn
收稿日期 Received: 2011-02-14; 接受日期 Accepted: 2011-08-19

昆虫迁飞是其长期进化过程中形成的一种生存对策。很多农业重大害虫，如稻飞虱、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、草地螟 *Loxostege sticticalis*、蝗虫 *Locusta migratori*、粘虫 *Mythimna separata* 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 等(江幸福和罗礼智，2008)都是远距离迁飞性昆虫。近年来稻飞虱(主要包括褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphgax striatellus*)和稻纵卷叶螟等水稻两迁害虫暴发成灾，造成的损失令人触目惊心(翟保平和程家安，2006)。迁飞昆虫如何实现大尺度范围内的定向运动，其定向机制耐人寻味。目前对于昆虫迁飞过程中的定向机制已有太阳罗盘定向(Oliveira *et al.*, 1998)、地磁定向(Banks and Srygley, 2003)、星空标志定向(Wehner, 1984)、偏振光定向(Rossel and Wehner, 1986)、侧风漂移补偿(Preiss and Gewecke, 1991)等研究。在理论上，可以通过昆虫雷达观测研究迁飞性昆虫起飞、爬升过程，及成层、定向和集聚等主动行为(翟保平，2005)，但由于涉及到昆虫大尺度的迁飞过程，就某种具体定向机制如夜行昆虫是否普遍利用磁场定向等迄今仍不能得出明确结论。研究迁飞性昆虫的定向机制有助于判断害虫迁飞路径及降落区域，为迁飞害虫的异地预测提供依据(吴先福等，2006；高月波和翟保平，2010)。然而，迄今有关迁飞性昆虫的地磁定向研究国内外报道甚少(Etheredge *et al.*, 1999; Srygley *et al.*, 2006；高月波和翟保平，2010)。

地球磁场是所有生物的一个重要环境因素，对于生物的形成活动都有不可忽视的影响(曹静林，2003)。研究表明，某些鸟类(如信鸽)和细菌(如趋磁细菌)有感知地磁场的本领(Kirschvink *et al.*, 2001)。Etheredge 等(1999)就证实迁飞性昆虫黑脉金斑蝶 *Danaus plexippus* 迁飞过程中利用地磁来定向迁移。Wajnberg 等(2001)、Alves 等(2004)和 Srygley 等(2006)分别证实白蚁 *Neocapritermes opacus* 和黄沫粉蝶 *Aphrissa statira* 利用磁场罗盘定向是可能的。本研究以水稻重大迁飞性害虫褐飞虱 *N. lugens* 为对象，通过磁学方法检测其体内磁性物质及其分布状况，以期为迁飞性害虫的地磁定向研究提供一定基础。

1　材料和方法

1.1　供试迁飞性害虫

用于检测的褐飞虱包括长翅型雌、雄成虫和短翅型雌、雄成虫(黄凤宽等，2003)，于 2010 年 8 月 8 – 10 日采自山东省郯城水稻大田。调查时，选择有代表性的 3 块水稻田，每块田面积在 0.13 公顷以上。每个样田选择 2 个点，一个是田块中心区域，一个是田块交界边缘区域。在大田扫网收集褐飞虱短翅型雌、雄成虫，用黑光灯诱集长翅型雌、雄成虫，分别置于无水乙醇中保存待测。

1.2　虫体处理

为了明确磁性物质在虫体不同部位的分布，并考虑到昆虫的神经系统主要分布在头胸部(即脑神经)和腹部(即腹神经索)，分别按照褐飞虱长短翅型雌、雄成虫的整体、头胸部和腹部取样检测。样本大小及试验重复见表 1。同时，为了避免因磁性物质污染而导致的检测假阳性，对检测样品进行严格的处理和清洗，即将保存在无水乙醇中的检测样品取出，分别置于稀肥皂水和超纯水中振动清洗 15 s 以上，待超纯水冲净后置于玻璃纸上。对于昆虫腹部和头胸部样品，首先在体视镜下操作去除翅膀和足，再用超纯水清洗样品，然后将头胸部和腹部切开，分别保存于玻璃纸中。

表 1　褐飞虱体内磁性物质检测试验设计

Table 1　Test scheme for the detection of magnetic materials in adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

	长(短)翅型整体 Long-/short-winged whole body		长(短)翅型头胸部 Long-/short-winged cephalothorax		长(短)翅型腹部 Long-/short-winged abdomen	
	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male
样本大小(头) Sample size (individuals)	5 (5)	5 (5)	10 (10)	10 (10)	10 (10)	10 (10)
重复数 Replicates	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (10)	3 (3)	3 (3)

样本大小表示用于一次性检测的长翅型(短翅型)褐飞虱成虫数量；括号中的数值表示短翅型的数量。Sample size means the number of long-winged (short-winged) adults of *N. lugens* used for one detection test. Values in parentheses stand for the number of short-winged adults of *N. lugens*.

1.3　虫体磁性物质检测

磁性测定仪器为超导量子磁强计（型号 MPMS-7，美国 Quantum Design 公司），其测量范围为 $1\times10^{-10}\sim0.3$ Am^2，绝对灵敏度 1×10^{-10} Am^2（0.8 mA/m）和 5×10^{-10} Am^2（4.0 mA/m），磁场范围为 ± 4.8 mA/m，温度范围为 1.9 ~ 400 K，样品空间 < Φ 6 mm × 6 mm。测定指标包括温度退磁曲线（T = 10 ~ 300 K）和磁滞回线（T = 10 K）：退磁曲线描述的是从剩余磁化强度 Mr 开始，M 退到等于零的过程，为磁性材料重要的特性曲线；而磁滞回线描述的是磁通密度或磁化强度与磁场强度的关系，可以直接反映磁性材料的磁性强弱。其中，对褐飞虱长翅型成虫整体、腹部和头胸部，以及短翅型成虫腹部和头胸部分别进行温度退磁曲线和磁滞回线测定。

2　结果

2.1　褐飞虱成虫整体磁性物质检测

图 1（A 和 B）分别为褐飞虱长翅型雄成虫虫体的温度退磁曲线和磁滞回线。长翅型雄成虫整个虫体的检测结果表明，温度退磁曲线在 T = 220 K 处无明显拐点（图 1：A），磁滞回线无明显闭合现象（图 1：B）。褐飞虱长翅型雌成虫及短翅型雌、雄成虫整体磁性物质检测结果（即温度退磁曲线和磁滞回线）与长翅雄成虫结果相同。说明利用褐飞虱成虫整体进行磁性物质检测效果不明显，可能与该体段翅膀、足等含有电磁干扰物质有关。

2.2　褐飞虱长翅型成虫腹部磁性物质检测

长翅型雌成虫腹部的检测结果表明，温度退磁曲线在 T = 220 K 处有明显拐点（图 2：A），磁滞回线也表现为明显的闭合现象（图 2：B）。此外，褐飞虱长翅型雄成虫腹部的磁性物质检测结果（即温度退磁曲线和磁滞回线）（图略）与长翅型雌成虫腹部的检测结果类似，说明褐飞虱长翅型成虫腹部有磁滞，即有一定的矫顽力存在，进而证实该部位可能存在磁性物质。

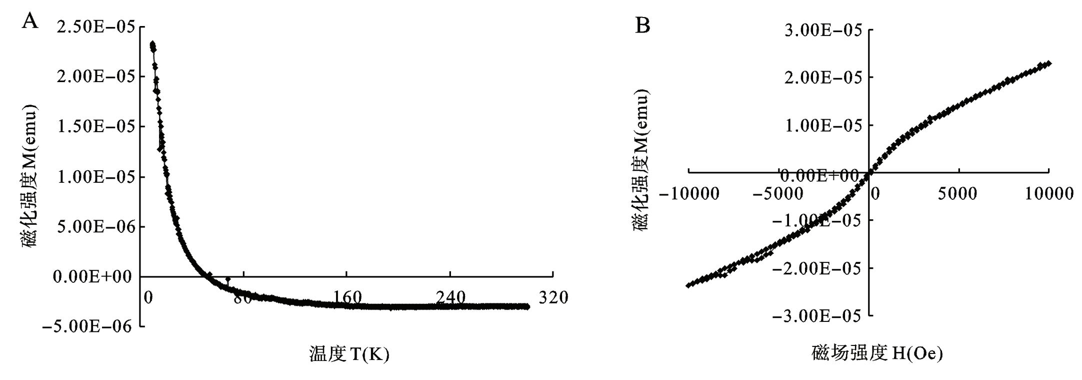


图 1　褐飞虱长翅型雄成虫虫体温度退磁曲线（A）和磁滞回线（B）

Fig. 1　The temperature-demagnetization curve (A) and hysteresis loop (B) in the whole body of the long-winged male adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

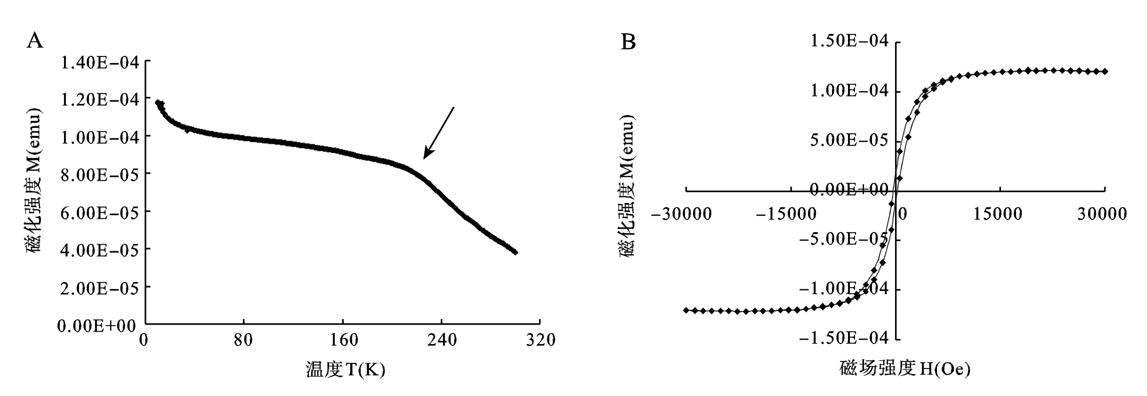


图 2　褐飞虱长翅型雌成虫腹部温度退磁曲线（A）和磁滞回线（B）

Fig. 2　The temperature-demagnetization curve (A) and the hysteresis loop (B) in the abdomen of the macropterous-female adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

箭头处示拐点；图 3 同。The arrow denotes the turning point of the curve. The same for Fig. 3.

2.3 褐飞虱短翅型成虫腹部磁性物质检测

短翅型雄成虫腹部的检测结果表明，温度退磁曲线在 T = 220 K 处有明显拐点(图 3：A)，磁滞回线也表现为明显的闭合现象(图 3：B)。此外，短翅型雌成虫腹部的磁性物质检测结果(即温度退磁曲线和磁滞回线)(图略)与短翅型雄成虫腹部的检测结果类似，说明褐飞虱短翅型成虫腹部也有磁滞，即有一定的矫顽力存在，进而证实该部位可能存在磁性物质。

2.4 褐飞虱成虫头胸部磁性物质检测

图 4(A 和 B)分别为褐飞虱长翅型雌成虫头胸部的温度退磁曲线和磁滞回线。长翅型雌成虫头胸部的检测结果表明，温度退磁曲线在 T = 220 K 处无明显拐点(图 4：A)，且磁滞回线明显不闭合(图 4：B)。褐飞虱长翅型雄成虫头胸部，以及短翅型雌、雄成虫头胸部的磁性物质检测结果(即温度退磁曲线和磁滞回线)(图略)与长翅型雌成虫头胸部的检测结果类似。说明褐飞虱成虫头胸部无磁性物质分布。

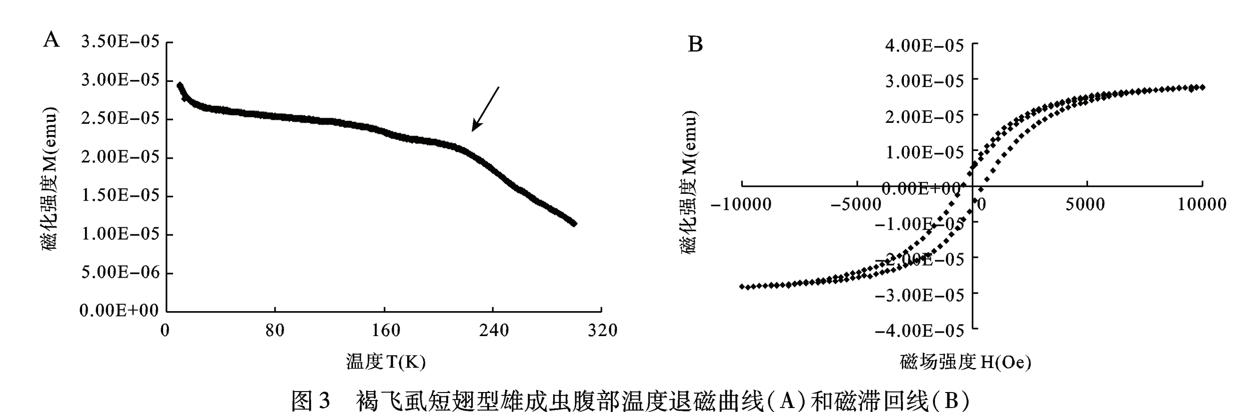


图 3 褐飞虱短翅型雄成虫腹部温度退磁曲线(A)和磁滞回线(B)

Fig. 3 The temperature-demagnetization curve (A) and the hysteresis loop (B) in the abdomen of the brachypterous-male adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

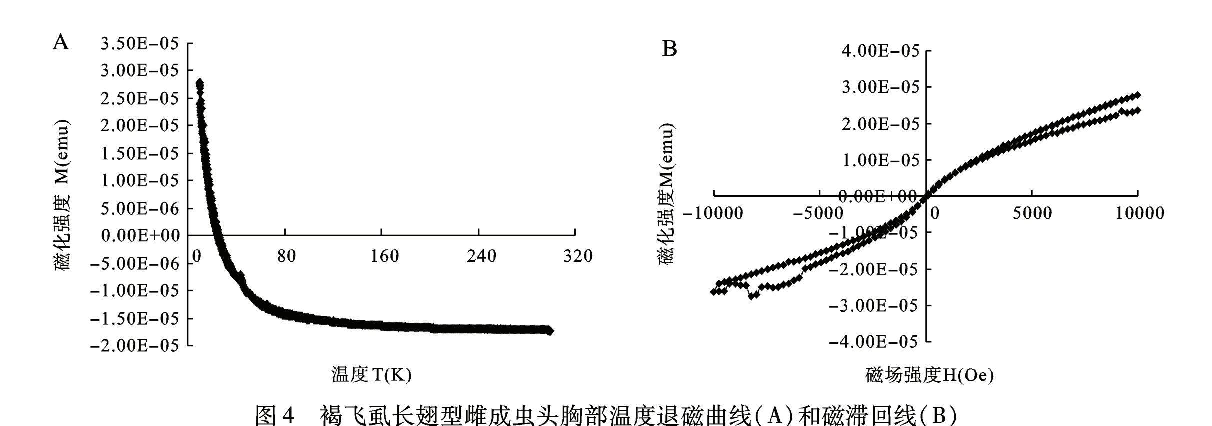


图 4 褐飞虱长翅型雌成虫头胸部温度退磁曲线(A)和磁滞回线(B)

Fig. 4 The temperature-demagnetization curve (A) and the hysteresis loop (B) in the cephalothorax of macropterous-female adults of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

3 讨论

本研究表明，褐飞虱无论长翅型还是短翅型成虫，其腹部均存在着磁性物质。尽管短翅型褐飞虱一般认为是不迁飞，但其成虫腹部存在着磁性物质，说明短翅型和迁飞的长翅型之间在利用地磁定向的潜能上可能无大的差异。换言之，无论长翅型还是短翅型成虫，其腹部的磁性物质可能都是内源性质，即由其自体合成，受褐飞虱自身的遗传基础和种群特质所调控。该磁性物质主要存在于腹部，这与蜜蜂体内报道的磁性物质分布一致，即磁性主要集中在腹部而非头胸部(Hsu *et al*., 2007)。Jones 和 MacFadden (1982) 对珍稀昆虫黑脉金斑蝶 *D. plexippus* 研究发现，蝶体内亦存在着磁性物质，不同之处是该磁性物质主要集中在其头胸部而非腹

部；同时，雌、雄黑脉金斑蝶之间的磁性未发现有显著差异，与本研究中雌、雄褐飞虱成虫体内磁性物质检测情况相类似。褐飞虱虫体内磁性物质的存在为其远距离迁飞过程中实现地磁定向提供了一定的物质基础。

Li 等(2010)的研究表明，典型的 Fe_3O_4 性质磁性物质其温度退磁曲线在 T = 90 ~ 110 K 处有明显拐点，而本研究中褐飞虱体内的磁性物质其温度退磁曲线只在 T = 220 K 处表现明显拐点，说明该磁性物质并非典型的 Fe_3O_4 性质。褐飞虱体内的磁性物质究竟为何成分，其具体性质仍需要结合腹部切片、免疫组化和 X-射线衍射分析等进一步加以确定。

参 考 文 献 (References)

Avales OC, Wajnberg E, de Oliveira JF, Esquivel DMS, 2004. Magnetic material arrangement in oriented termites: a magnetic resonance study. *Journal of Magnetic Resonance*, 168: 246 – 251.

Banks AN, Srygley RB, 2003. Orientation by magnetic field in leaf-cutter ants *Atta colombica* (Hymenoptera: Formicidae). *Ethology*, 109: 835 – 846.

Cao JL, 2003. Life is subjected to the Earth's magnetic field. *Super Science*, (3): 22 – 24. [曹静林, 2003. 生命受制于地球磁场. 大科技, (3): 22 – 24]

Etheredge JA, Perez SM, Taylor OR, Jander R, 1999. Monarch butterflies (*Danaus plexippus* L.) use a magnetic compass for navigation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96(24): 13845 – 13846.

Gao YB, Zhai BP, 2010. Progress in the mechanisms of insect orientation. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1055 – 1065. [高月波, 翟保平, 2010. 昆虫的定向机制研究进展. 昆虫知识, 47(6): 1055 – 1065]

Hsu CY, Ko FY, Li CW, Fann K, Lue JT, 2007. Magnetoreception system in honeybees (*Apis mellifera*). *PLoS ONE*, 4: e395.

Huang FK, Wei SM, Huang SS, 2003. Advanced summarization of studies on wing dimorphism of the rice brown planthopper. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 16(1): 82 – 85. [黄凤宽, 韦素美, 黄所生, 2003. 稻褐飞虱翅型分化研究进展. 西南农业学报, 16(1): 82 – 85]

Jiang XF, Luo LZ, 2008. Regulation basis and perspectives on insect migration. *Acta Ecologica Sinica*, 28(6): 2835 – 2842. [江幸福, 罗礼智, 2008. 昆虫迁飞的调控基础及展望. 生态学报, 28(6): 2835 – 2842]

Jones DS, MacFadden BJ, 1982. Induced magnetization in the monarch butterfly, *Danaus plexippus* (Insecta, Lepidoptera). *Journal of Experimental Biology*, 96: 1 – 9.

Kirschvink JL, Walker MM, Diebel CE, 2001. Magnetite-based magnetoreception. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 11: 462 – 467.

Li JH, Pan YX, Liu QS, Qin HF, Deng CL, Che RC, Yang XA, 2010. A comparative study of magnetic properties between whole cells and isolated magnetosomes of *Magnetospirillum magneticum* AMB-1. *Chinese Science Bulletin*, 55(1): 38 – 44.

Oliveira EG, Srygley RB, Dudley R, 1998. Do neotropical migrant butterflies navigate using a solar compass? *Journal of Experimental Biology*, 201(24): 3317 – 3331.

Preiss R, Gewecke M, 1991. Compensation of visually simulated wind drift in the swarming flight of the desert locust (*Schistocerca gregaria*). *Journal of Experimental Biology*, 157: 461 – 481.

Rossel S, Wehner R, 1986. Polarization vision in bees. *Nature*, 323: 128 – 131.

Srygley RB, Dudley R, Oliveira EG, Riveros A, 2006. Experimental evidence for a magnetic sense in Neotropical migrating butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Animal Behaviour*, 71: 183 – 191.

Wajnberg E, Cernicchiaro G, Acosta-Avalos D, El-Jaick LJ, Esquivel DMS, 2001. Induced remanent magnetization of social insects. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 230: 2040 – 2041.

Wehner R, 1984. Astronavigation in insects. *Annual Review of Entomology*, 29: 277 – 298.

Wu XF, Feng HQ, Xue FS, Wu KM, 2006. Orientation behaviors of insects in migratory process. *Plant Protection*, 32(5): 1 – 5. [吴先福, 封洪强, 薛芳森, 吴孔明, 2006. 昆虫迁飞过程中的定向行为. 植物保护, 32(5): 1 – 5]

Zhai BP, 2005. What have we seen by entomological radar? *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(2): 217 – 226. [翟保平, 2005. 昆虫雷达让我们看到了什么? 昆虫知识, 42(2): 217 – 226]

Zhai BP, Cheng JA, 2006. Summary of two special emigrational insects in 2006. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(4): 585 – 588. [翟保平, 程家安, 2006. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要. 昆虫知识, 43(4): 585 – 588]

(责任编辑：袁德成)